

CO₂地中貯留における内面急冷時の油井管ねじ継手の密封性能の評価

Evaluation of the Sealability of OCTG Premium Joint Under Rapid Internal Cooling in CCS Wells

鵜飼 信*
Shin UGAI

井瀬 景太
Keita INOSE

安倍 知花
Tomoka ABE

安藤 吉則
Yoshinori ANDO

和田 顕
Akira WADA

山口 優
Suguru YAMAGUCHI

抄 録

CCS 井戸では油井管を用いて CO₂ を地中に圧入するが、そのライフサイクルの中では保守点検やトラブルなどにより圧入が中断されることがある。この時、Joule-Thomson 効果によって管内面が急冷されることが知られており、特に油井管ねじ継手に設けられたメタルシールと呼ばれる密封機構に影響を及ぼすことが懸念されている。そこで有限要素法解析および小型模型試験による評価を実施した。有限要素法解析では内面冷却によるメタルシールの接触力の低下が示されたが、解析対象のねじ継手ではその接触力を維持できることを確認した。小型模型試験では油井管の締結時に塗布するグリースの種類によって冷却時の密封性能変化の傾向が異なることを明らかにした。

Abstract

Oil Country Tubular Goods (OCTG) are commonly used in CO₂ injection operation in CCS wells. The operation is occasionally suspended for various reasons such as maintenance or accidents. In such suspension, the inner surface of OCTG suffers rapid cooling due to the Joule-Thomson effect. This gives rise to a concern that the OCTG connection, especially the metal-to-metal seal, would be negatively affected by internal cooling. To evaluate the impact, Finite Element Analysis (FEA) and small-scale lab experiments were conducted. It was confirmed by FEA that the seal integrity could be maintained under internal cooling while its contact intensity was lowered. In lab experiments, it was observed that the sealing performance of grease at low temperature varied with the type of grease.

1. はじめに

気候変動の影響が生活実感としても感じられるようになると、カーボンニュートラルの実現は人類にとっての喫緊の課題であると認識されるようになってきている。その実現のための取組は多岐にわたるが、特に有望な手法の1つとして認識されているのが CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) であり、これは地上で回収された CO₂ を地中の貯留層に半永久的に封入するというものである。

CCS における CO₂ の発生源やその回収方法、また CO₂ を封入する貯留層の特性は様々であるが、地上から貯留層まで井戸を掘り CO₂ を圧入するという点は共通している。

この井戸の中で CO₂ の圧入に使用されるのが油井管であ

り、その名の通り石油や天然ガス採掘用の井戸に用いられる鋼管である。油井管は通常、長さ 10m ほどの鋼管として出荷され、ねじ加工された管端同士を現地で締め付けることで接続される。

油井管の用途を考えると、管内面を流れる石油やガスが継手部を介して管外面に漏洩する事態は何としても避ける必要があり、油井管ねじ継手は高い密封性能を維持できるように設計されている^{1,2)}。

CCS 井戸においても CO₂ を漏らさないようねじ継手部の密封性能を確保する必要があり、油井管ねじ継手も密封機構は有効であると考えられる。一方、CCS 井戸の作業中には内面急冷が生じ得ることが知られているが、これは通常の石油ガス開発では見られない現象であり、この内面

* 関西技術研究部 継手開発研究室 継手設計課長 兵庫県尼崎市扶桑町 1-8 〒660-0891

急冷が油井管ねじ継手の密封性能に及ぼす影響については、これまで十分に説明されたとは言えない。

そこで本研究では有限要素法解析 (Finite Element Analysis: FEA) と小型模型試験機を用い、巨視的および微視的に内面冷却が油井管ねじ継手の密封性能に及ぼす影響について調査を行った。

本稿では第2章で油井管ねじ継手の基本的な構成や機能について簡単に紹介した後、第3章で CCS 井戸において継手部が直面する課題について述べ、第4章で研究のあらましとその成果について報告し、第5章をまとめとした。

2. 油井管ねじ継手の構成と密封機構

油井管ねじ継手には様々な種類があるが、米国石油協会 (American Petroleum Institute: API) の標準継手³⁾が広く使用されており、これは API 継手と呼ばれている。

これとは別にメーカー各社が独自に開発したねじ継手があり、その中でもメタルシールを備えた高い密封性能を持つものが特殊継手 (Premium Joint: PJ) と呼ばれている。日本製鉄(株)も PJ の研究開発を行っており、その成果は高性能特殊継手 “VAM® 21” などに反映されている⁴⁾。

2.1 PJ の基本構成

図1に代表的な PJ の構成を示す。この例では油井管の両端に加工された雄ねじ部材 (PIN) が、カップリングと呼ばれる短管の両端に加工された雌ねじ部材 (BOX) と組み合わされている。このような組み合わせのものを T&C 継手 (Threaded and Coupled) と呼ぶ。この他に油井管の片端に PIN を、逆端に BOX を加工して油井管同士を直接締結する構成のものもありインテグラル継手と呼ばれている。

詳細形状を見ると PIN, BOX はそれぞれねじ部 (Thread) の他にショルダー (Shoulder) やメタルシール (Metal-to-metal)

seal) と呼ばれる構造を有している。ショルダーは締結時のストッパーであり、PIN と BOX の相対位置を管理する機能を有している。

PJ のメタルシールは PIN および BOX それぞれに設けられた軸対称の接触面が嵌め合わさることによって流体の通り抜けを封じる仕組みになっている。PIN のシール径は BOX のシール径よりも僅かに大きく設計されており、PIN と BOX がそれぞれ弾性変形することで嵌め合いが実現される。この時のシール径差を干渉量と呼ぶ。干渉量が与えられない場合、PIN と BOX のシール面は幾何学的に接触しているに過ぎず、高压流体にさらされれば容易に隙間を生じて流体の漏洩を許すこととなる。一方、干渉量が大きすぎても締結時に生じる嵌め合い摺動によりシール面が損傷する可能性がある。そのため、干渉量を適切に設定することは PJ の設計において極めて重要といえる。

なお図1は PJ の代表例として紹介したものであり、細かな寸法や幾何形状は PJ の種類によって異なる。

2.2 油井管ねじ継手と潤滑剤

また油井管ねじ継手を議論する上で無視できないのが潤滑剤である。油井管ねじ継手の締結時には通常、ドープと呼ばれるコンパウンドグリースが塗布され、摺動面の摩擦低減や焼き付き防止の機能を果たしている。

ドープはさらにメタルシールの密封性能を大きく向上させる機能も有しており、嵌め合い接触後も PIN と BOX のシール面間に存在すると考えられる微小隙間を充填し封じている⁵⁾。

このドープには API によってその成分が規定⁶⁾された API ドープと呼ばれる種類の他、海洋環境への負荷を低減したイエロドープと呼ばれる種類などが存在する。さらに近年ではドープではなく、継手表面に形成された固体皮膜によって潤滑させるドープフリーと呼ばれる技術も登場している。

2.3 PJ の性能評価

油井管ねじ継手、特に PJ は極めて高い密封性能を特徴としており、高いものでは 140MPa 以上のガス密封性能を有する。また石油ガス井戸の坑井中では状況に応じて管軸方向の引張や圧縮、内圧や外圧などの様々な荷重が負荷されるため、密封性能を評価する上では様々な複合荷重下でも漏洩が生じないことを確認する必要がある。

こうした評価は実機を用いて行うのが一般的であり、その試験実施手順は API にて規格化されている⁷⁾。一方で実機試験は多くの工数と時間を要するため、FEA などの数値解析手法を用いた性能評価も広く行われている。

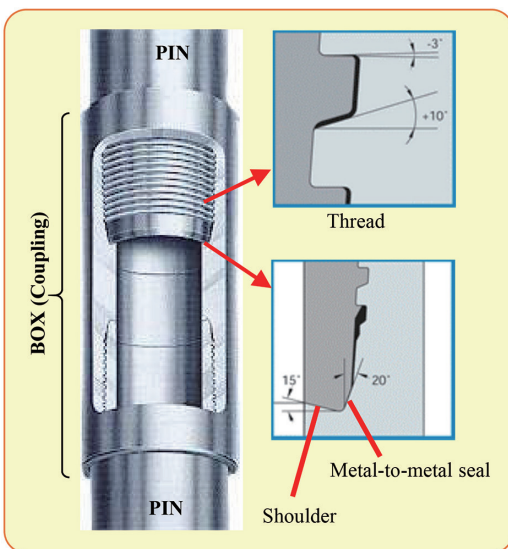


図1 代表的な油井管特殊ねじ継手の構成⁴⁾
Typical structure of PJ⁴⁾

3. CCS井戸における課題

3.1 Joule-Thomson 効果による井戸内冷却

続いて CCS 井戸の操業環境について考える。

CCS 井戸では高圧の CO₂ を連続的に地中に圧入するが、数十年に及ぶと考えられるライフサイクルを通じて常に CO₂ を圧入し続けられるわけではない。保守点検などで圧入が中断される他、井戸の暴噴などのトラブルによって操業が停止することも考えられる。

こうした場合、油井管内に残っていた高圧の CO₂ は大気開放される形となり、急速な圧力低下に伴って CO₂ は膨張する。この時流体の温度が変化するが、その大部分は内部エネルギーが分子間力に対してする仕事によって説明される。この現象は Joule-Thomson 効果と呼ばれており、CO₂ は特に大きな温度低下をもたらすことで知られている⁸⁾⁹⁾。

実際の CCS 井戸を想定したシミュレーションでは井戸底の安全弁近傍が -80℃ 近くまで冷やされるという結果も示されている¹⁰⁾。このような内面冷却は通常の石油ガス生産井では想定されていないため、従来の PJ の開発においては特に考慮されてこなかった。従って既存の PJ を CCS 井戸に使用するためには内面冷却が PJ の密封性能に及ぼす影響を正しく理解する必要がある。

3.2 内面急冷による嵌め合い力の低下

内面急冷が PJ に与える影響は図 2 に示すように、巨視的および微視的それぞれの視点から考慮する必要がある。

まず巨視的な影響であるが、PIN の熱収縮による干渉量の低下が懸念される。2 章で述べた通り PJ は PIN のシール径を BOX のそれよりもわずかに大きくすることで嵌め合いの力を生み出している。

しかし内面が急冷されると、まず PIN の温度が低下して熱収縮が生じ、シール径も縮小する。この時 BOX が元の温度・寸法を保っているとするれば干渉量は低下し、場合によってはシールの接触が失われる事態も想定され得る。

そのため、内面急冷によって継手部の内外面に温度差が生じた時、メタルシールの干渉嵌め合いがどの程度維持さ

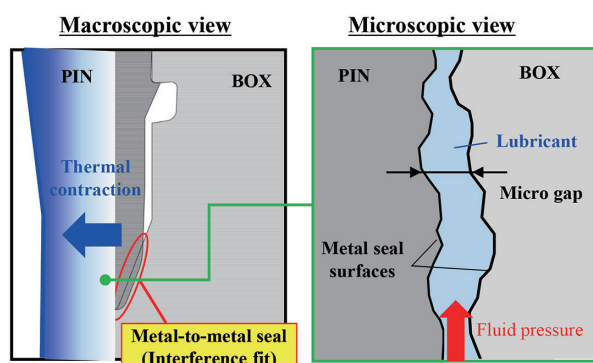


図 2 内面急冷による密封性能への影響¹⁴⁾

The impact on sealability of PJ by rapid internal cooling¹⁴⁾

れるかを知ることは極めて重要である。

3.3 極低温による潤滑剤の性状変化

次に微視的な影響について考えたい。先にも述べたようにシール面間の微小隙間にはドープが充填されており、それによって密封性能が大幅に向上されている。

この時、ドープは一定の流動性を維持しており、井戸中で PJ に負荷される荷重の変化によってシール同士の相対微小変位が生じたとしてもこれに追従すると考えられる。

しかし、シール部が極低温環境にさらされた場合、ドープが凝固し流動性を失う可能性がある。この場合にはシール面の相対微小変位にドープが追従できず、シール面間に微小隙間が生じてガス漏洩の原因となることが懸念される。

こうした懸念が妥当なものであるかどうかはこれまで十分に研究されておらず、一部には CCS 井戸にはドープは適さず、ドープフリーの使用が推奨されるという主張も現れている¹¹⁾。このような主張の是非も検討する上でも、極低温下における潤滑剤のレオロジー特性を知る必要がある。

4. 内面冷却時の密封性能

4.1 FEA による嵌め合い力の検証

第 3 章で紹介した課題のうち、内面急冷が嵌め合い力に及ぼす影響を調べるため、FEA を用いた数値解析を実施した。

4.1.1 FEA による継手密封性能の評価

2.3 節で述べた通り、FEA は PJ の性能評価に広く用いられており、モデル化の方法などについては多くの知見が蓄積されている。今回の解析においても、メッシュの作成や荷重の負荷方法、密封性能の評価方法などにおいて、石油ガス開発向けの PJ の性能解析の手法を適用した²⁾。

すなわち解析モデルは二次元軸対称とし、メタルシールの接触エネルギーをもって密封性能の指標とした。これはシールの接触圧力を縦断面表面に沿って積分した値である。また図 3 に示すように油井管本体の降伏楕円に沿って軸力および圧力の複合荷重を負荷することで、井戸中で想定される様々な荷重状況下でも密封性能を維持できるかどうかを評価した。

この方法は API RP 5C5⁷⁾ で規定された実機試験における荷重負荷の考え方と整合している。

4.1.2 接触熱抵抗の測定

一方、内面急冷とそれに伴う内外温度差を解析モデルに組み込むためには伝熱の影響を適切に把握する必要がある。特に PIN と BOX の接触面における熱伝導は解析結果に大きな影響を及ぼすものと考えられる。3.3 節で述べた通り、この接触面間はドープで満たされているため、ド

プを介した熱伝導のモデル化が必要である。

そこで実際の油井管材料 25%Cr 鋼と市販のイエロードープを用いて接触熱抵抗を測定した。測定は ASTM1530-06 に従い、温度傾斜法を用いた。測定結果を正規化したものを図 4 に示す。ここから、接触圧力の増加に伴い熱抵抗が減少することが確認できる。

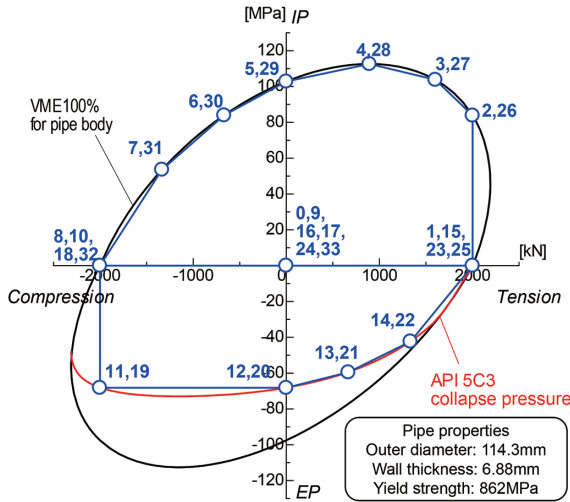


図 3 荷重負荷点と負荷順序¹⁴⁾
Load points and loading sequence¹⁴⁾

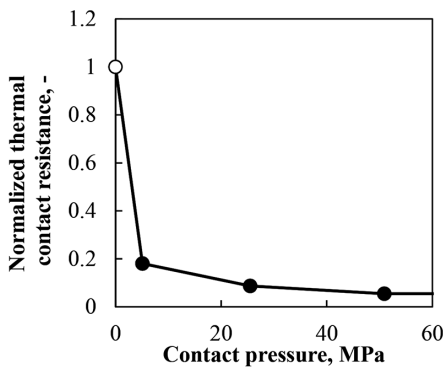


図 4 有限要素法解析に用いた接触熱抵抗¹⁴⁾
Normalized thermal contact resistances applied in the FEA¹⁴⁾

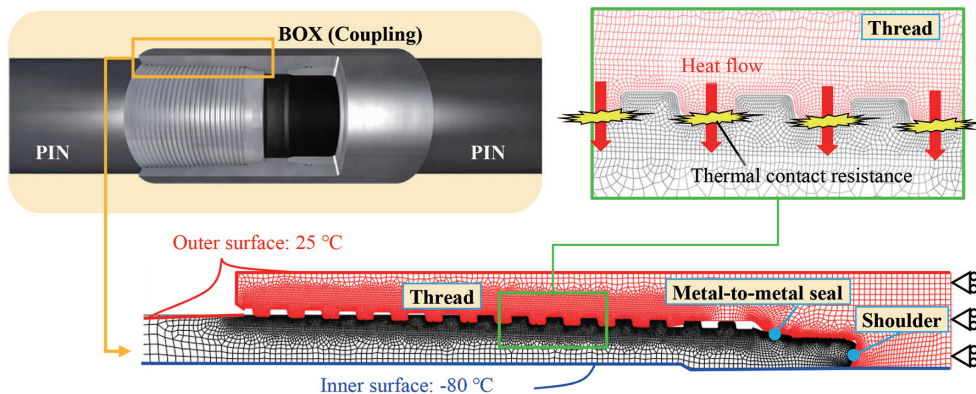


図 5 有限要素法による内外温度差の再現¹⁴⁾
Temperature gradient modelled by FEA¹⁴⁾

4.1.3 解析条件の設定

次に具体的な解析条件について検討した。内面急冷時には油井管の内外で温度差が生じ、これがシールの干渉量を低減させると考えられている。

そこでこの効果が最も大きくなるよう、管内面を -80℃、管外面を 25℃ で固定し、定常熱伝導解析により PJ 内部の温度分布を求めた。図 5 に継手部の伝熱イメージを示す。

また井戸中の CO₂ の膨張による冷却が生じる前に、油井管には井戸中で様々な荷重が負荷されると考えられることから、冷却の前後でそれぞれ図 3 に示した荷重を負荷した。

4.1.4 解析結果

図 6 に内外面温度差を与えた場合の PJ の温度分布を示す。ここから、メタルシール面は -38.9℃ まで冷却され得ることを確認した。

また図 7 に冷却前後の各荷重点におけるメタルシールの接触エネルギーの推移を示す。縦軸は締結時を 1 として規格化したシールの接触エネルギーであり、横軸は複合荷重負荷の順序を表している。横軸のステップ 17 が内面冷却を模擬した過程であり、この前後に図 3 に示した複合荷重を負荷した。

図 7 における破線は内面冷却を行わずに荷重だけを負荷した場合の結果を表しており、内面冷却によって接触エネルギーが低下することが確認できる。一方で接触エネルギーは全過程を通じて保持されており、内面冷却によって密封性能の全面的な喪失が生じるとは考えにくい。

FEA による密封性能の予測精度については、実機での極低温密封性能試験との比較などを通じて向上させることが望ましい。

4.2 小型模型試験機による極低温密封性能の検証

続いてシール面間のドープが極低温まで冷却されることによる微視的な密封性能への影響を評価するため小型模型試験機を用いた評価を実施した。

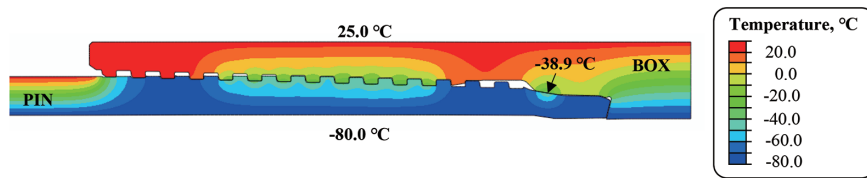


図 6 内面冷却時の継手温度分布¹⁴⁾
Temperature distribution in the PJ under internal cooling¹⁴⁾

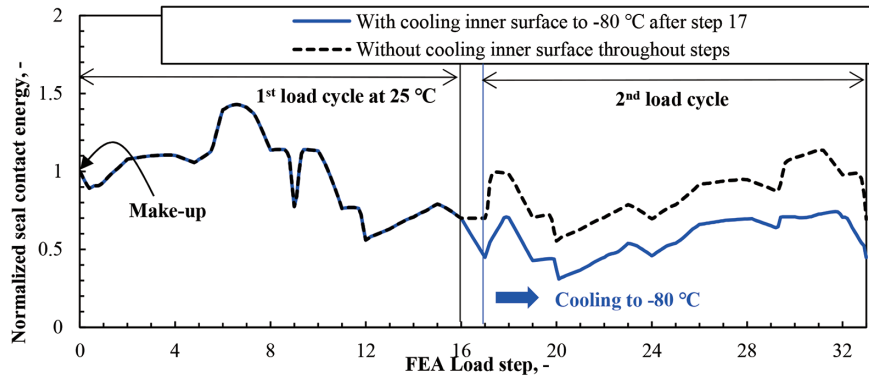


図 7 荷重負荷と内面冷却によるシール接触エネルギーの推移¹⁴⁾
Normalized seal contact energy under combined load and inner cooling¹⁴⁾

4.2.1 試験機および試験片

図 8 に今回用いた小型模型試験機の模式図を示す。この試験機では軸方向の圧縮と回転を同時かつ独立に負荷できる 2 軸アクチュエータを有しており、さらに試験体下部から高圧ガスを注入することで試験体シール部の摺動性能や密封性能を評価できる構造となっている¹²⁾。また試験体周辺に加熱炉や恒温槽を設置することで様々な温度条件での試験が可能となっている¹³⁾。

試験体は上試験片と下試験片から構成されており、上試験片下端の外面には PJ のメタルシール面を模倣した曲面が成形されており、これが下試験片上端内面の円錐面と嵌め合わさることでメタルシールを形成する。図 9 に示す通り、PJ のシール面はらせん摺動しながら嵌め合わされるため、本試験体も締結模擬動作としてらせん摺動を加えなが

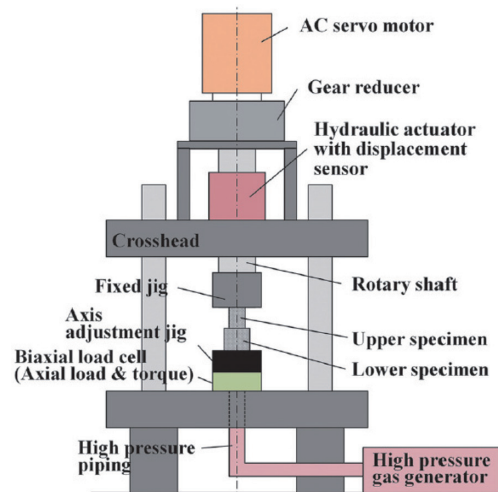
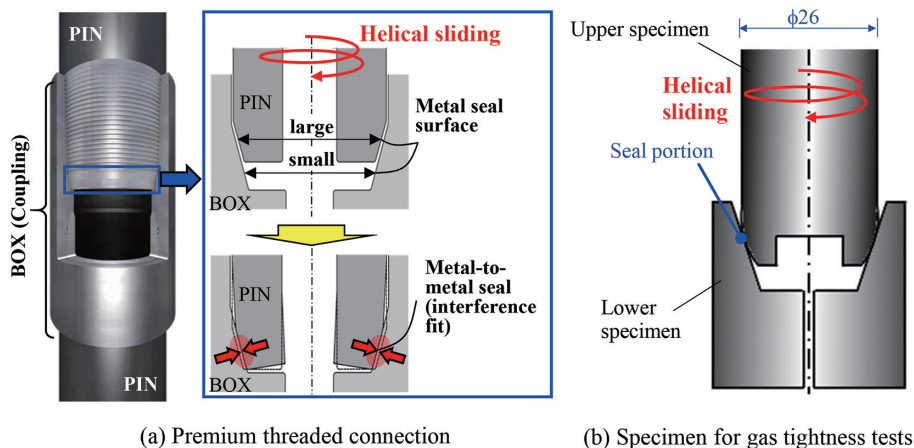


図 8 小型模型試験機の模式図¹⁴⁾
Schematic of testing setup¹⁴⁾



(a) Premium threaded connection (b) Specimen for gas tightness tests

図 9 PJ および試験体のシール部模式図¹⁴⁾
Schematic of metal-to-metal seal of PJ and test specimen¹⁴⁾

らシール面を接触させるようにできている。

今回、試験片にはステンレス鋼 SUS420-J2 を用い、表 1 に示す潤滑剤と表面処理の組み合わせを適用した。潤滑剤には API ドープとイエロドープの他、ドープフリーを使用した。

4.2.2 試験条件の設定

4.1.4 項で述べた通り、管内面を -80℃、管外面を 25℃ とした場合、定常状態ではシール接触面の温度は -38.9℃ となることが分かった。

そこで今回の極低温密封試験における狙い温度は -40℃ 以下とし、試験体周辺にドライアイスを満たした槽を設置することで冷却した。内圧試験時は試験体の内面温度を測定することができなくなるため、図 10 に示すようにあらかじめ試験体内外に熱電対を張り付けたサンプルを準備し、温度変化を確認した。その結果、図 11 に示すように 20 分以上の冷却で試験体内面が -40℃ 以下に達し、その後も 1 時間以上 -40℃ 以下の状態が保たれることが確認された。このことから極低温密封試験での予冷却時間は 30 分と設定した。

表 1 試験体の表面処理および潤滑剤の組み合わせ
Combinations of surface treatments and lubricants

No.	Surface treatment		Lubricant
	Upper specimen	Lower specimen	
1	Cu plating	As machined	Yellow dope
2	Cu plating	As machined	API dope
3	Special plating	As machined	Dope free

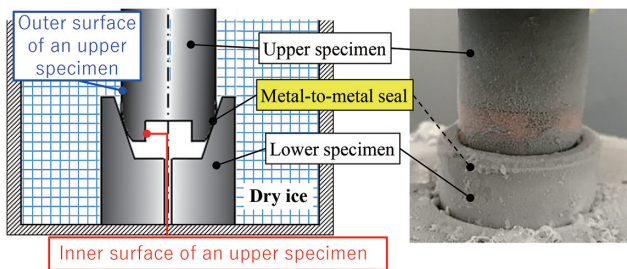


図 10 ドライアイスによる試験体冷却¹⁴⁾
Cooling by dry ice¹⁴⁾

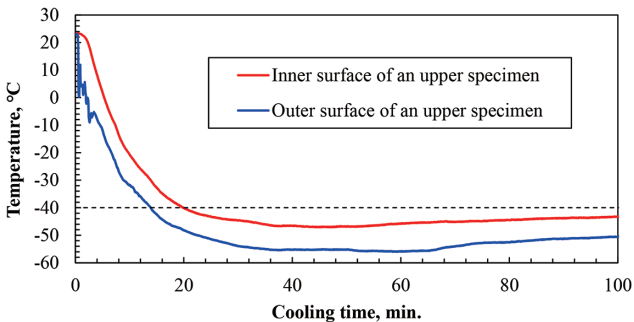


図 11 試験体内外面の温度変化¹⁴⁾
Temperature of inner and outer surfaces of the specimen¹⁴⁾

試験過程を図 12 に示す。まず室温下でシール面をらせん摺動させながら接触させた。これは CCS 井戸においても継手の締結は室温環境にて実施されることを模擬したものである。接触面の周速度は 24.7mm/s とし、同時に軸方向に 0.17mm/s の変位を加えることでらせん摺動を実現した。その後、圧縮力が 7.5kN に達した時点で回転を停止した。これらの値は実 PJ のメタルシールを模擬したものであり、本試験を模擬した FEA によればこの時のシール面の平均接触圧力は 687MPa に及ぶ。

その後、上述の通り 30 分間の冷却を経て試験体内部にガスを導入し、シール部からのリークが検知されるまで連続的に昇圧した。ガスは 95%窒素と 5%ヘリウム混合ガスとし、試験体外部に設置されたヘリウム検知器によってリークの発生を検出した。ここでリーク発生時のガス圧が密封性能の指標となる。すなわち低い圧力でリークが発生すれば密封性能も低く、より高い圧力までリークが発生しなければ密封性能も高いとした。

また極低温での結果と比較するため、室温および 180℃ での試験も実施した。180℃ は API が定めた油井管ねじ継手評価試験方法における高温試験の温度である⁷⁾。

4.2.3 試験結果

図 13 に密封性能試験の結果を示す。ここでは室温との密封性能の差を見るため、各温度域でのリーク発生圧力を室温の結果で除して得た相対密封性能を示した。

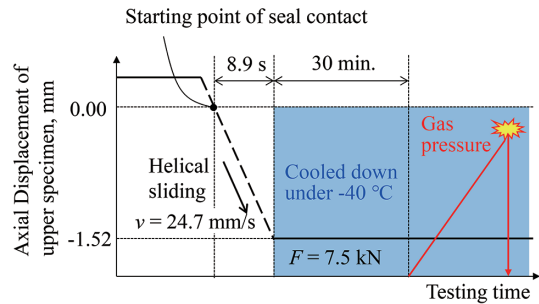


図 12 小型模型試験機による密封性評価過程¹⁴⁾
Sealability evaluation test sequence¹⁴⁾

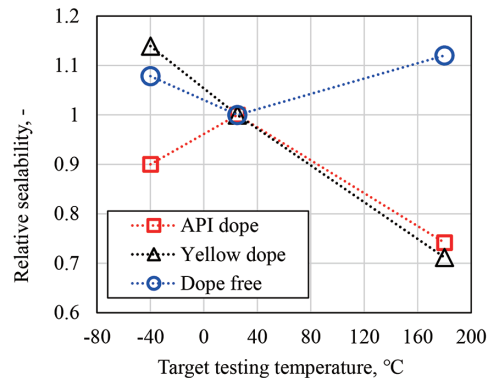


図 13 小型模型試験機による密封性評価結果¹⁴⁾
Sealability evaluation test results¹⁴⁾

図 13 から明らかなように、API ドープでは極低温下で密封性能が低下するのに対し、イエロードープは極低温下で密封性能が向上することが分かった。一方、どちらのドープも高温においては密封性能が低下した。

これに対して、固体潤滑皮膜を適用した場合は常温での密封性能が最も低くなり、極低温および高温のどちらでも性能の向上が見られた。

4.2.4 動的粘弾性測定

4.2.3 項の結果、特に API ドープとイエロードープを冷却した際の密封性能変化の傾向の違いを理解するため、各潤滑剤の動的粘弾性特性が温度とともにどのように変化するかを測定した。

ドープの測定にはアントンパール社製の MCR302 と $\phi 25$ mm の平行プレートを用い、窒素雰囲気下で周波数 1 Hz、昇降温速度 3°C/sec で測定した。

固体潤滑皮膜についてはティー・エイ・インストルメント社製 RSA-III を使用し、窒素雰囲気下で周波数 1 Hz、昇降温速度 5°C/sec として貯蔵弾性率 (E') および損失弾性率 (E'') を測定した。

どちらの測定も 25°C から開始し、まず -80°C まで冷却したのちに 25°C まで昇温した。

結果を図 14 および図 15 に示す。API ドープは -10°C 以下で急速に粘度が上昇し、流動性を失うことが分かった。一方、イエロードープの粘度変化は比較的緩やかであり、今回の小型模型試験での温度域では流動性が維持されていたと考えられる。固体潤滑皮膜については温度による粘弾性特性の変化はほとんど見られなかった。

これらのことから、API ドープの密封性能が極低温で低下したのは急激な粘度上昇によって流動性が失われ、シール面の微小な相対運動に追従できずに微小隙間を生じたためと考えられる。

一方、動的粘弾性測定を実施した全ての潤滑剤において降温時と昇温時の挙動がほぼ一致したことから、冷却によるドープの密封性能への影響は可逆的であると考えられる。つまり冷却によって密封性能が一時的に低下しても、温度が常温に戻ればドープの密封性能も元に戻るものと考えられる。

5. まとめ

CCS 井戸における PJ の密封性能について、特に油井管内の CO₂ 減圧によって内面冷却が生じた場合の挙動を調査した。

シール接触面の嵌め合い力については油井管内外の温度差によって接触エネルギーの低下が引き起こされることを FEA によって確認した。この時、密封性能を維持するのに必要な接触エネルギーがどれほどかという点については今後、実機での極低温密封試験の結果などと比較することで

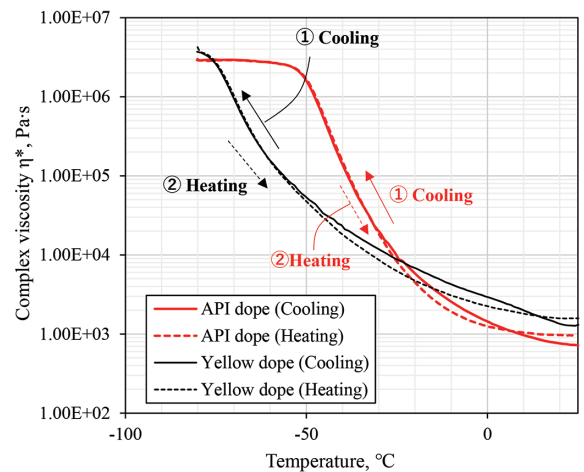


図 14 ドープの動的粘弾性測定結果¹⁴⁾
Dynamic viscoelasticity measurement results of dopes¹⁴⁾

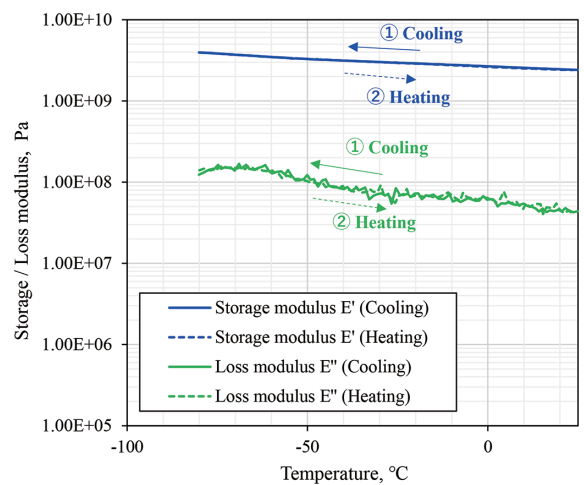


図 15 固体潤滑皮膜の粘弾性測定結果¹⁴⁾
Dynamic viscoelasticity measurement result of dope-free coating¹⁴⁾

評価する必要がある。

また極低温環境における潤滑剤の性状変化がメタルシールの密封性能に及ぼす影響について小型模型試験機で評価を行い、潤滑剤によって異なる挙動を示すことを確認した。

さらに各潤滑剤の動的粘弾性測定の結果より、API ドープの密封性能が低温で低下するのは急激な粘度上昇によって流動性が失われることによると考察した。

一方、イエロードープについては低温でも一定の流動性を維持しており、良好な密封性能を保つことを確認した。

いずれの場合でも冷却の影響は可逆的であるため、操業中のトラブルなどにより CCS 井戸の温度が一時的に極低温となっても、温度が室温に戻れば密封性能も回復するものと考えられる。

謝 辞

本論文は、Offshore Technology Conference 2023 にて発表済の論文 (参照文献 14)) の一部に加筆・修正し再構成した

ものである。図表を含め、転載を許諾いただいた Society of Petroleum Engineers に感謝する。

参考文献

- 1) 小笠原昌雄：鉄と鋼. 79 (5), N352 (1993)
- 2) 井瀬景太, 杉野正明：トライボロジスト. 62 (4), 285 (2017)
- 3) API Specification 5B: Specification for Threading, Gauging and Thread Inspection of Casing, Tubing and Line Pipe Threads. 16th Edition. American Petroleum Institute, 2017.12
- 4) 杉野正明 ほか：新日鉄住金技報. (397), 9 (2013)
- 5) Inose, K. et al.: Tribology Online. 11 (2), 227 (2016)
- 6) API Recommended Practice 5A3: Thread Compounds for Casing, Tubing, Line Pipe and Drill Stem Elements. 4th Edition. American Petroleum Institute, 2023.02
- 7) API Recommended Practice 5C5: Procedures for Testing Casing and Tubing Connection. 4th Edition. American Petroleum Institute, 2017.01
- 8) ルイス, ランドル (訳: 三宅, 田所): 熱力学. 初版. 東京, 岩波書店, 1971, p.47
- 9) Engel, T., Reid, P.: Thermodynamics, Statistical Thermodynamics & Kinetics. 3rd Edition. Boston, Pearson, 2013, p.62
- 10) Acevedo, L., Chopra, A.: Energy Procedia. 114, 5083 (2017)
- 11) Salzano, T. et al.: OMC Med Energy Conference and Exhibition, Ravenna, 2021, OMC
- 12) Inose, K. et al.: Journal of Japanese Society of Tribologists. 65 (12), 770 (2020)
- 13) Inose, K. et al.: Tribology Online. 16 (3), 192 (2021)
- 14) Inose, K. et al.: Offshore Technology Conference, Houston, 2023, OTC



鵜飼 信 Shin UGAI
関西技術研究部 継手開発研究室
継手設計課長
兵庫県尼崎市扶桑町1-8 〒660-0891



安藤吉則 Yoshinori ANDO
Nippon Steel North America Inc.
Senior Manager



井瀬景太 Keita INOSE
人事労政部 (英国留学)
主幹 博士(工学)



和田 顕 Akira WADA
鋼管技術部 鋼管商品技術室 主査



安倍知花 Tomoka ABE
鋼管技術部 鋼管商品技術室 主査



山口 優 Suguru YAMAGUCHI
鋼管技術部 鋼管商品技術室
継手技術課長